

GESTIÓN DE LA ENERGÍA EN EL SECTOR RURAL: CUENCA DEL ARROYO LUDUEÑA, SANTA FE

Más allá de la perspectiva eminentemente física, la energía debe considerarse, sin ningún riesgo de error, un bien de uso personal y social, indispensable para el desarrollo económico y el bienestar individual y general. Tan importante bien afronta desde fines del siglo XX una problemática muy específica.

Las que parecieron inagotables fuentes de energía para la humanidad, hoy son reservas sospechadas de pronta escasez, que obligan a una gestión más responsable y comprometida, y a idear propuestas alternativas.

Recientemente la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura -UNESCO- la ha propuesto junto al agua, como los dos temas centrales para la humanidad en el próximo milenio, enfatizando que no es posible pensar en términos de desarrollo sustentable sin incluir el uso racional de la energía.

Hasta tanto se generen y perfeccionen nuevas formas de obtención de energía, como la del biodiesel por ejemplo, es imprescindible optimizar la eficiencia de uso de las que se dispone, más, cuando ello condiciona la calidad de vida de millones de personas, que por diversas razones poseen restricciones al acceso de este recurso.

Este panorama genera obligadamente al análisis sobre las necesidades energéticas disponibles y vincularlo a las exigencias de desarrollo de la humanidad. Los recursos energéticos disponibles para una población y su capacidad para pagarlos determinan en gran parte la manera en que vive.

La dotación regional de las fuentes de energía y las formas en las cuales

se desarrollan y se distribuyen no es uniforme alrededor del mundo.

La magnitud de energía consumida *per capita* es uno de los indicadores del progreso del desarrollo de un país, y consecuentemente.

Mientras se asume que el desarrollo es un proceso complejo, es un paradigma de la política de desarrollo que sin servicios apropiados de la energía allí no puede haber desarrollo económico verdadero. Los servicios de la energía son ingredientes esenciales para el crecimiento y el desarrollo futuros.

En este sentido el papel dual de la agricultura como un usuario y proveedor de la energía es un importante factor a considerar.

Debido a su capacidad para la producción de biomasa, la agricultura es también una fuente potencial de energía renovable. La agricultura es un proceso de conversión de la energía, convierte la energía solar a través de la fotosíntesis a energía de los alimentos para los seres humanos y los animales.

La producción agropecuaria moderna requiere una entrada de energía en todas las etapas del proceso e incluye la energía para la transformación, el almacenaje de los alimentos y el transporte a los mercados.

Existen varias entradas de energía indirectas en los sistemas de producción principalmente en forma de fertilizantes minerales, pesticidas, insecticidas y herbicidas. Mientras que los países industrializados se han beneficiado con estos insumos tecnológicos y con ello de la disponibilidad de energía para la agricultura, los países en vías de desarrollo no fueron tan afortunados. El ingreso de energía en la cadena de

producción de los alimentos ha sido una característica esencial del desarrollo agrícola y es un factor preponderante para alcanzar la seguridad alimentaria. Los países en vías de desarrollo están retrasados detrás de países industrializados en modernizar sus entradas de energía a la agricultura.

La producción de granos en las principales regiones del mundo son las que consumen más energía y poseen las producciones agrícolas más altas. Sin embargo, las relaciones entre la entrada de energía y la salida de productos agropecuarios también son afectadas por las condiciones ecológicas y ambientales, fertilidad de suelo, disponibilidad de precipitaciones, temperaturas, son algunos ejemplos.

Estas condiciones no se ajustan, en un sentido estricto, a los límites políticos diseñados por el hombre sino que ocurren, en general, dentro de unidades ecológicas relativamente homogéneas, como un ecosistema, una cuenca, un paisaje, un bioma o una ecoregión.

Es posible concebir la gestión de la energía en esas unidades como una herramienta al servicio de la toma de decisiones al momento de elaborar un plan de ordenamiento territorial.

Desde 2004, la especialidad Manejo de Tierras de la FCA-UNR, emprendió actividades de investigación con el objetivo de realizar un análisis energético en una cuenca hidrográfica regional: Arroyo Ludueña, 70.000 has (Figura 1).

Se propuso como unidad de estudio las unidades de tierras (UT) (Figura 2), las cuales surgieron de la subdivisión de las Unidades de Paisaje (UP) presentes en la cuenca, en función del estrato de superficie

Tabla 1: Componentes del modelo utilizado en el análisis energético

Parámetros energéticos	Definición
Energía directa (Ed)	Ingreso de gasoil
Energía indirecta (Ei)	Semillas + Fertilizantes + Pesticidas + Maquinaria
Ingreso de energía (IE)	IE = Ed + Ei
Egreso de energía (EE)	Biomasa cosechada
Energía neta (EN)	EN = EE - IE
Relación egreso/ingreso (Re)	Re = EE / IE

operada (ES), integrándose de esta forma factores naturales, tecnológicos y socioeconómicos.

Unidad de paisaje Nº1 (UP1)

Abarca posiciones de relieve correspondientes a lomas extensas y ligeramente onduladas, con pendientes menores al 1% (0.5-1 %). El escurrimiento es moderado a bueno y el drenaje es bueno. No existe peligro de anegamiento o inundación y la napa freática, por su profundidad, no influye en las propiedades edáficas. En las áreas con mayor pendiente existe ligero peligro de erosión. La capacidad de uso corresponde a I-2. Los suelos son Argiudoles típicos de la Serie Peyrano (Py) y Consociación Serie Peyrano fase suavemente ondulada (Py8). La UP1 está atravesada por áreas inclinadas hacia los cauces situados al pie de la loma constituyendo áreas cóncavas, cuyos suelos corresponden a las Consociaciones Serie Peyrano moderadamente engrosada (Py2x) y Serie Peyrano bien drenada y engrosada (Py20), la clasificación por capacidad de uso corresponde a II_e y II_w , respectivamente.

Unidad de paisaje Nº2 (UP2)

Abarca lomas extendidas. Algunos sectores corresponden a interfluvios entre vías de drenaje. Están presentes numerosos microrrelieves dando un aspecto "cribado". La permeabilidad de suelo es lenta y el perfil edáfico tiene características hidromórficas y son afectados por alcalinidad sódica, siendo el escurrimiento lento. Las posiciones más altas están ocupadas por suelos de la Serie Roldán (Rd) y en menor medida por la Serie Monte Flores (MF). Las microdepresiones están ocupadas por suelos de la Serie Gelly (Ge), Monte Flores (MF) y Zavalla (Za), con Capacidad de Uso: II_{w-s} y II_w . El área está atravesada por sectores cóncavos con pendientes menores al 1

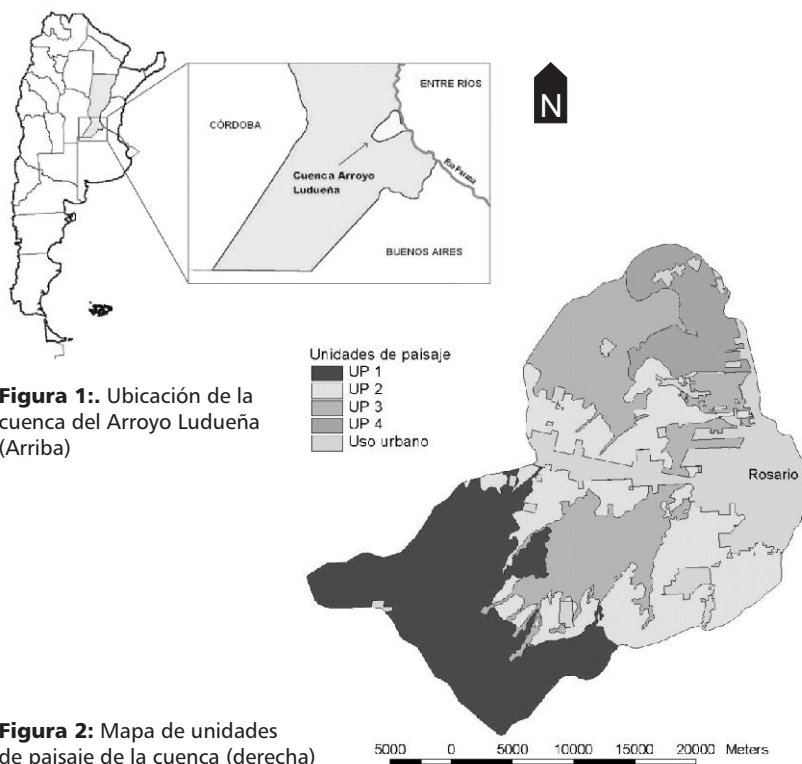


Figura 1: Ubicación de la cuenca del Arroyo Ludueña (Arriba)

Figura 2: Mapa de unidades de paisaje de la cuenca (derecha)

Tabla 2: Coeficientes energéticos para los insumos de producción utilizados

Concepto	Unidad (U)	Mj.U	Concepto	Unidad (U)	Mj.U
Semillas			Operaciones		
Soja	kg	16,62	SD Soja, Maíz, Sorgo	ha	368,05
Trigo	kg	16,62	SD Trigo	ha	545,58
Maíz	kg	32,99	Siembra Convencional	ha	346,4
Sorgo	kg	32,99	Fertilización	ha	99,59
Pesticidas			Protección de cultivos	ha	99,59
Herbicidas	cc	0,418	Cosecha Sj, Mz, Sg	ha	562,9
Insecticidas	cc	0,364	Cosecha Trigo	ha	627,85
Fungicidas	cc	0,272	Labores		
Curasemillas	cc	0,136	Disco	ha	259,8
Fertilizantes			Cincel	ha	281,45
Nitrógeno (N)	kg	77,53	Cultivador de campo	ha	238,15
Fósforo (P)	kg	6,035	Rastra	ha	103,92
Azufre (S)	kg	9,74	Granos		
Potasio (K)	kg	14,41	Soja	kg	16,75
Inoculante			Trigo	kg	15,45
	cc	0,011	Maíz	kg	16,54
			Sorgo	kg	14,06

Mj = megajoule

%, de lenta permeabilidad, anegables y de escurrimiento lento. Estos sectores también están afectados por alcalinidad sódica. Los suelos presentes corresponden a las Series MF y Rd (fases erosionada y engrosada) y Ge, con capacidad de uso: IV_{ws}. La clasificación taxonómica de las series corresponde a Natralbol típico (Ge), Argialbol típico (MF) y Natracualf típico (Za). Los suelos de la UP2 abarcan las consociaciones Rd8, Rd12, Rd15y Rd11.

Unidad de paisaje N°3 (UP3)

Abarca posiciones en el paisaje correspondiente a áreas planas, bajas, amplias y vías de avenamiento digitiforme, de permeabilidad lenta a muy lenta y drenaje impedido a pobre. Los gradientes de pendientes son menores a 0,5 % y el escurrimiento es lento. Los suelos presentan alcalinidad sódica y sales, y son Consociaciones de las Series Rd, Ge, Za, Manantiales (Ma), Za y MF, con capacidades de uso que comprenden las clases VI_{ws} y VII_{ws}. Taxonómicamente corresponden a Argiudoles vérticos (Rd), Argiudol ácuico (Ma), Argialboles típicos (MF), Natralboles típicos (Ge) y Natracualfes típicos (Za), y están presentes en las Consociaciones Rd10, Za2 y Za3.

Unidad de paisaje N°4 (Up4)

Abarca posiciones de paisaje correspondiente a amplias lomadas, con pendientes de 0,5 %, escurrimiento lento a moderado y drenaje moderado a bueno. La napa freática se encuentra entre 5 y 15 metros de profundidad. El suelo representativo es un Argiudol vértico que corresponde a la Serie Roldán, cuya capacidad de uso es I-2.

Los estratos de superficie operada (ES), definidos en base a consultas a referentes calificados, correspondieron al siguiente rango de superficies: estrato A: 20 a 150 has, estrato B: 151 a 450 has, estrato C: más de

451 has. Con la información disponible se realizó la vinculación de las UP con los ES mediante intersección espacial de las coberturas UP y ES, resultando en una nueva cobertura conteniendo las UT. De esta manera se obtuvieron 10 UT: A1, A2, A3, A4, B1, B2, B4, C1, C2 y C3.

En las UT del territorio de la cuenca se fijaron tres enfoques, A) Análisis energético, B) Balance de agua y energía, y C) Diseño de una metodología de procesamiento de información espacial para la determinación del balance de energía (BE).

Los recursos para la elaboración de los análisis energéticos, comunes a los tres enfoques se indican en las Tablas 1 y 2.

Resultados del enfoque A

A pesar de advertirse un aumento de ingresos energéticos, la región se encuentra en un nivel relativamente bajo de consumo de energía fósil.

En cuanto a la eficiencia energética (Re) los valores hallados fueron mayores que los correspondientes a la pampa ondulada en la década del 90 del siglo pasado. Probablemente la inclusión de híbridos y variedades mejoradas y de prácticas de manejo

más adecuadas influya sobre estos resultados. En la cuenca del arroyo Ludueña el relativo alto nivel de eficiencia es acompañado por niveles de productividad menores a los obtenidos, por ejemplo, en países de Europa. Estos sistemas podrían tener un funcionamiento parecido a los sistemas orgánicos que, generalmente, tienen menor uso de energía comparado con los sistemas convencionales, por lo que la eficiencia es mayor, pero los rendimientos también son menores, es decir, que la energía neta es baja.

Desde otro punto de vista, el análisis energético a través de la relación egreso/ingreso (Re) o de la energía neta (EN) enmascararía el efecto negativo del uso de la energía, ya que un nivel de uso de energía puede sobrepasar un nivel aceptable de impacto sobre el ambiente, y esto no acuerda con el concepto de sustentabilidad. En la cuenca del arroyo Ludueña la mayoría de las UT consume entre 5.000 y 7.000 MJ.ha⁻¹. Los ingresos energéticos hallados en la región del Ludueña son relativamente menores y tendrían un bajo nivel de impacto sobre el ambiente.

En general la mayor fuente de consumo energético indirecto corresponde

Tabla 3: Comparación de la proporción de los diferentes rubros considerados para el cálculo de los Ingresos de Energía directa (IE_d) e indirecta (IE_i). Campaña agrícola 03/04.

UT	IE _{FE}	IE _{HE}	IE _{FU}	IE _{IN}	IE _{SE}	IE _i	IE _A	IE _L	IE _{SC}	IE _d
A1	23	20	0	0	28	71	4	3	22	29
A2	0	30	0	1	31	62	7	5	26	38
A3	25	29	0	1	23	78	5	0	17	22
A4	9	33	1	0	32	75	6	0	19	25
B1	35	15	1	0	25	76	4	0	20	24
B2	34	18	0	1	23	78	4	0	18	22
B4	23	25	1	1	25	74	5	0	21	26
C1	32	16	1	6	22	77	3	1	18	23
C2	5	32	1	2	29	70	6	0	25	30
C3	31	20	1	1	24	78	4	0	17	22

FE = fertilizantes; HE = herbicidas; FU = fungicidas; IN = insecticidas; SE = semillas;

A = aplicaciones de pesticidas y fertilizantes; L = labores; SC = operaciones de siembra y cosecha

Figura 3: Mapa de Unidades homogéneas de BA y energía



a los fertilizantes. En este trabajo, el 30% de los IEi, en promedio, correspondieron a IE_{FE} , con un valor máximo de 45% para la UT B1. Debido a la menor participación de los fertilizantes en el total de energía indirecta ingresada en las UT, el ingreso relativo a la producción de semillas (IE_{SE}) alcanza una participación promedio de 37%, valor que es mucho mayor que el rango de 1 a 13% citado en la bibliografía específica. Al tener un uso relativamente menor de fertilizantes, los pesticidas tienen mayor influencia sobre el total de Ei. Los ingresos energéticos a través de los herbicidas (IE_{HE}) ocupan en promedio un 31% del total de IEi. En valores absolutos, la cantidad de energía que ingresa a las UT como herbicidas se encuentra entre 890 y 1.700 $Mj.ha^{-1}$. La importancia de discriminar qué rubro de insumos representa el mayor costo energético para una determinada UT, radica en el hecho de poder introducir modificaciones, de manera de conservar más energía para el sistema. En general, es más importante modificar el uso de fertilizantes que el de herbicidas ya que el costo energético de éstos últimos es menor que el de fertilizantes, tal como sucedió en este estudio y en la mayoría de las UT. De todas formas, los niveles de consumo de energía en estos dos rubros son bajos.

A pesar de que se consideraron aspectos socioeconómicos (ES) y biofísicos (UP), la aplicación de insumos y tecnología en los sistemas agrícolas de la cuenca del arroyo Ludueña fue similar en las distintas UT, por lo que los resultados del análisis energético no difirieron entre ellas. Se compensaría la menor calidad de la UP3 y las restricciones de manejo del ES A, con las mejores condiciones de las UP1, 2 y 4 y los ES B y C. Con estos resultados es posible recomendar una planificación general del uso de la energía en la cuenca rural.

Resultados del enfoque B

En los diferentes sectores de la cuenca se aplicó un modelo de simulación hidrológica para áreas de llanura (SHALL3). El balance de agua (BA) se determinó a través de los saldos netos entre sus términos, considerando los componentes subterráneos y superficiales de flujos de agua, conjuntamente con los flujos verticales hacia el acuífero y la atmósfera.

La cuenca fue subdividida en un conjunto de celdas (48) de características homogéneas y se realizó una discretización espacial. El BA anual de cada celda fue calculado a partir de:

$$0 = (P) - (Es + ETR + Pe) (+/-) W$$

donde, P = precipitación, Es = escurrimiento superficial, ETR = evapotranspiración real, Pe = percolación, y W = Agua almacenada en el suelo.

A través de dos sistemas de información geográfica se obtuvo un Mapa Integrado de Unidades Homogéneas de BA y de energía de las UP (Figura 3).

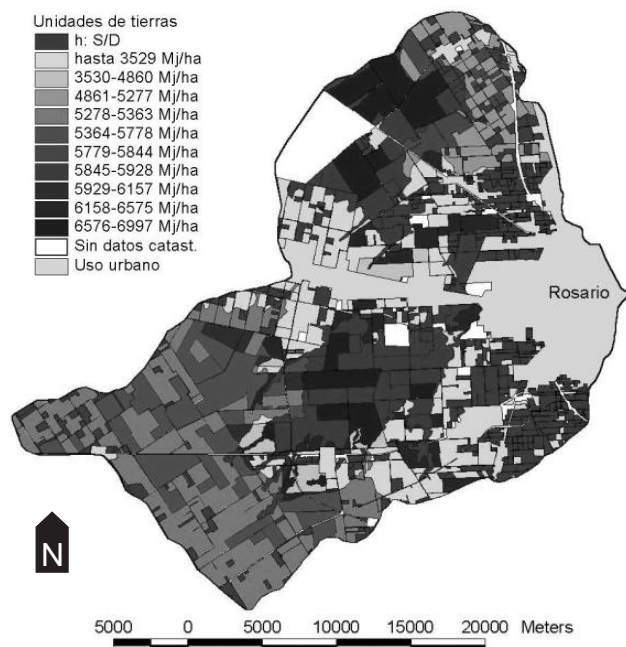
Se encontró una correlación lineal negativa entre los balances de energía de las unidades de paisaje con los BA, indicando que a los mayores balances de energía le corresponden menores BA. Esto supone que un aumento de algunos términos del balance hídrico, como la evapotranspiración, estaría relacionado con el incremento marginal de la productividad.

La mayor proporción de la superficie de la cuenca (19,33 %) correspondió al balance de energía más bajo y a un BA entre 100 mm y 150 mm, y la menor superficie (0,24 %) al mismo BA para el balance de energía más alto.

En los sectores de cabecera de la cuenca se produce la recarga del sistema hidrológico, y en los sectores deprimidos la descarga.

La recarga correspondería a la mayor percolación y al relativamente menor escurrimiento, dando más oportunidad al proceso de evapotranspiración de los cultivos, y con ello a la optimización del balance energético.

Figura 4: Mapa de egreso de energía (EE) de las UT de la cuenca



En los sectores de descarga disminuye la percolación y el escurrimiento, y la napa freática influye sobre estos términos de pérdidas del balance de agua, dificultando además el drenaje y condicionando negativamente la evapotranspiración, y por consecuencia, un menor egreso de energía.

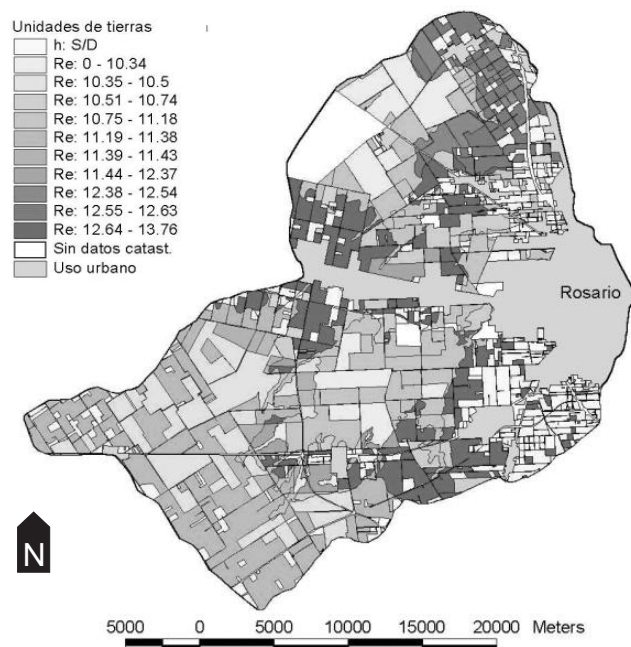
Resultados del enfoque C

Se desarrolló un algoritmo para la determinación del balance energético en las unidades de paisaje, en el entorno de dos sistemas de información geográfica (SIG) con los insumos de topografía, suelos, catastro y el censo de productores. Se obtuvieron los mapas de ingreso de energía (IE) por UT, y de egreso de energía (EE) por UT (Figura 4).

A partir de los cálculos realizados en la base de datos del SIG se elaboraron los mapas de balance energético (energía neta o EN), y de Relación egreso/ingreso de energía (Re) (Figura 5), de las UT consideradas en la cuenca.

La metodología desarrollada permitió reconocer la relación espacial entre los caracteres naturales y los agroproductivos de manera automatizada, agilizando las posibilidades de visualización de las distintas interacciones e interrelaciones espaciales entre ellos. Además posibilitó la georreferenciación de datos alfanuméricos, como los censales, para la realización del análisis energético.

Figura 5: Mapa de eficiencia energética o relación EE/EI (Re) por UT



Esta herramienta permitiría también la posibilidad de simulación de escenarios futuros a efectos de establecer las bases del ordenamiento territorial, desde el punto de vista energético, y generar un soporte para la adopción de decisiones prediales y regionales.

Actualmente este equipo de investigación aborda la cuestión energética en la región centro de Argentina, donde se analizan distintos sistemas de producción (agrícolas, ganaderos y mixtos) en las provincias de Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe.

Para profundizar más sobre este tema puede consultarse el libro "Gestión de la Energía en el Sector Rural" Edición UNR 2007, elaborado por los mismos autores del presente artículo.

Ing. Agr. Jorge Müller

Compra-venta de campos y Estancias. Santa Fe - Entre Ríos - Córdoba
Tasaciones de inmuebles rurales

Corrientes 763 - 2º P Of. 10 - Rosario

Telefax: 0341-4408829 | Celular: 156-420243 | e-mail: jmullercampos@ciudad.com.ar